

СИСТЕМЫ УЧЕБНЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ЗАДАЧ ПО ХИМИИ В СООТВЕТСТВИИ С ПРИНЦИПАМИ КОГНИТИВНОЙ ПСИХОЛОГИИ

Жилин Д.М.

Школа «Наши Пенаты»

Тот факт, что очень немногие школьники умеют решать сколько-нибудь сложные задачи по химии – общепризнанная проблема методики преподавания химии не только в России, но и за рубежом. Два основных вопроса при этом – «почему у некоторых учащихся возникают трудности при решении задач» и «как мы можем помочь таким учащимся развивать навыки решения задач (problem solving skills) [1].

Способность к решению задач подвержена влиянию как минимум когнитивных, мотивационных и поведенческих факторов, причём когнитивные факторы включают знание содержания предмета (content knowledge), усвоение понятий (concepts) и навыки процесса решения задач (process skills). Соответственно, трудности в решении задач связаны либо с недостатком предметных знаний, либо с неправильными подходами к решению задач, либо с заблуждениями. Очень часто трудности обусловлены применением заученных алгоритмов без их понимания [1 и ссылки там].

Когнитивные факторы изучает когнитивная психология, краткий обзор которой в применении к обучению химии приведён нами в работе [2]. С точки зрения обучения решению задач из описанных в этой статье положений когнитивной психологии имеется ряд следствий.

1. Задачи решаются в рабочей памяти. Для их успешного решения рабочая память должна быть оптимально загружена. В случае перегрузки рабочей памяти задача не решается.
2. Чтобы избежать перегрузки рабочей памяти, у школьников при решении сложной задачи должны быть сформированы навыки (макрооператоры) решения составляющих её более простых задач, а необходимые знания должны находиться в долговременной памяти в виде единого целого («теория чанков»). То есть задача должна быть связана с имеющимися знаниями.
3. Поиск информации, необходимой для решения сложной задачи вне текста самой задачи, приводит к эффекту расщепления внимания, который перегружает рабочую память и тем самым затрудняет решение задач.
4. Слишком простые (для соответствующего школьника) задачи также перегружают рабочую память, так как заставляют разбивать сложные чанки на более простые компоненты («обратное влияние профессионализма») [3].

Из этого следует, что для эффективного обучения решению задач их следует организовывать следующим образом.

1. Все операции, которые необходимы для решения задачи, должны быть отработаны (храниться в долговременной памяти), а вся необходимая информация – содержаться в тексте задачи.
2. Задачи должны быть не проще тех, которые школьник уже умеет решать.
3. Познавательная нагрузка задачи (cognitive load, M-demand, Z-demand) [4] должна быть чуть меньше, чем ёмкость рабочей памяти школьника.

Очевидно, что оптимальная задача зависит от того уровня, на котором находится данный конкретный школьник. Кроме того, она зависит и от объёма его рабочей памяти, которая индивидуальна [5]. Поэтому сконструировать одну абстрактную задачу, удовлетворяющую вышеописанным требованиям, невозможно. Можно говорить

только о системе задач, по мере прохождения которой школьник будет эффективно учиться их решать.

Система задач содержит как минимум три компонента:

- собственно задачи в определённой последовательности;
- инструктивные материалы к решению задач;
- система обратной связи (правильно или неправильно решена задача).

Важно, что обратная связь должна быть дана, пока задача находится в рабочей памяти, то есть немедленно [6]. С точки зрения организации обратной связи системы задач основываются на помощи учителя (teacher assisted) или помощи компьютера (computer assisted). Если обратная связь организуется при помощи компьютера, то наиболее эффективна интерактивная демонстрация решения (по сравнению со статической демонстрацией решения и отсутствием демонстрации решения) [7].

Инструктивные материалы делятся на процедурные инструкции, принципы и примеры. По поводу их использования опубликован содержательный обзор [8].

Если системы обратной связи худо-бедно исследуются, системы инструктивных материалов исследуются несколько хуже, то дизайн задач и выстраивание их последовательности не исследуются за рубежом вовсе. Этот вопрос автору данной статьи придётся раскрывать самостоятельно, базируясь на общих идеях когнитивной психологии и на связи содержания и последовательности задач с инструктивными материалами и системой обратной связи.

При обзоре зарубежной литературы по теме нужно иметь в виду, что во многих зарубежных странах химия в школе либо не изучается вовсе, либо изучается на примитивном уровне, без решения сложных задач [9]. Кроме того, под словом «задача» («problem») подразумеваются не только количественные, но и качественные задачи, которые решаются принципиально по-разному. Соответственно, большая часть статей посвящена решению задач не в школах, а в вузах. Основная часть исследований, опубликованных на английском

языке и посвящённых решению задач, касается либо разницы между новичками и мастерами [10, 11] («кто будет хорошо решать задачи по химии» [12]), либо использованию метакогнитивных навыков и инструментов [13]. Предполагается, что метакогнитивные инструменты включают в себя «понимание шагов, направленных на решение задачи», чтобы «направить студентов на решение задач систематическим образом» [14]. Однако личный опыт автора статьи, занимавшего в школьные годы призовые места на Всесоюзной химической олимпиаде, заставляет усомниться как минимум в первичной необходимости данных инструментов. В школьные годы автор далеко не всегда решал задачи, осознавая все шаги их решения.

На практике для развития способностей к решению задач предлагается развивать метакогнитивные инструменты. Причём способы их развития касаются не дизайна задач, а подходов к организации деятельности школьников, которые из которых кратко рассмотрим.

- Весьма перспективный и модный в настоящее время подход «перевернутого класса» (flipped class). В рамках этого подхода учащиеся сначала дома знакомятся с теоретическим материалом по книгам или видеолекциям, а потом в классе обсуждают его и решают по нему задачи [15, 16].
- Организация группового взаимодействия, часто связанного с вербальной рефлексией относительно решения задачи. При этом каждый автор норовит «изобрести» свой метод. В методе «инструкции от сверстников» (Peer Instructions) школьники сначала получают объяснение, потом вопросы по объяснённому материалу и, если большинство отвечает на вопросы неправильно, то те, кто ответил правильно объясняют тем, кто ответил неправильно [17]. В методе «обучение, направляемое командой сверстников» (Peer-Led Team learning) учащиеся решают задачи под руководством лидера из числа сверстников [18]. Этот метод очень похож на метод дополняющих инструкций (“Supplemental Instruction”), где школьники проговаривают свои решения и обсуждают их друг с другом. Здесь тоже процесс ведёт лидер.

В [19] детально описаны как требования к нему, так и организация взаимодействия в целом. Разделение ролей в группе отмечено в статье [20], касающейся кооперативного обучения («Cooperative Learning»). Упор на вербальную рефлексию в сочетании с кооперативным обучением делается в работе [21].

- Лекции о том, как развивать метапредметные навыки [22].
- Метод манипулирования задачами [23]. Школьники получают задачу, тренируя на ней навыки её решения. После чего на основе решённой задачи сами формулируют новую задачу.
- Создание карт понятий (concept maps [24]), что может быть использовано для решения количественных задач, но пока применяется главным образом для качественных рассуждений.

Увы, все эти подходы (одни – более обещающие, другие – менее) никак не касаются конструирования систем задач. Даже найденное нами описание полного курса решения задач в университете Хай Пойнта [25] говорит о развитии метакогнитивных стратегий, «образа мыслей» (mindset, [26]) и «твёрдости» (grit, [27]) (со ссылками на труды психологов, а не химиков), но ничего – о дизайне собственно задач. Исключение составляет работа [7], в которой отмечены довольно очевидные общие принципы (структурирование задачи, конструирование карт понятий, интерпретация графиков, использование лабораторных опытов, исторических идей или современных проблем и т. д.), но не приводится конкретных примеров.

Получается, что материалов, из которых можно почерпнуть конкретные руководства по созданию систем задач, очень мало.

Наиболее многообещающим представляется подход, именуемый «поддерживающее обучение» (scaffolding learning). В традиционном варианте этого подхода учитель или более сильный сверстник помогают учащемуся, изменяя учебную задачу или решая её части [28]. Такая поддержка (scaffolding) требует весьма тонкой настройки, чтобы учащийся с одной стороны всё-таки решил задачу или выполнил задание, а с другой – чему-то научился, а не просто воспользовался чужими усилиями для её решения [29]. В частности, эта поддержка должна

потихоньку размываться (fade) [26, 30]. Вообще, «scaffold» по-английски означает «строительные леса». В начале обучения они очень плотные и прочные, а затем должны быть разобраны. Но если разбирать их слишком быстро, то результаты обучения пострадают [28].

По мере распространения компьютерных систем обучения роль такой поддержки могут брать на себя компьютеры. По этому поводу написано много статей, однако автору неизвестны сколько-нибудь успешные примеры компьютерных обучающих систем, которые реализуют принцип поддерживающего обучения в автоматическом режиме.

Авторы [1] использовали метод, который они считают поддерживающим обучением для развития навыков процесса решения задач (problem-solving process skills). Однако при ближайшем рассмотрении предложенная ими система оказалась не системой, которая выдаёт в нужный момент подсказки, а неким детально прописанным общим алгоритмом решения задач (типа «установите соотношения между известными и неизвестными параметрами задачи: все ли эти соотношения вам понятны») и сводится к тому, чтобы сделать имплицитный мыслительный процесс эксплицитным. Авторы [31] подробно исследовали взаимодействие учителя, выдающего подсказки, с учеником. Показано, что это взаимодействие полезно для решения задач, что и так знает большинство учителей, общающихся со школьниками в процессе решения ими задач. На этом литература об использовании поддерживающего обучения для решения химических задач, по сути, заканчивается.

Ряд когнитивных исследований показывает, что новички эффективно учатся решать элементарные задачи на рабочих примерах [32]. Авторы [33] рекомендуют постепенно убирать (fade) рабочие примеры по мере обретения навыков решения задач, не показывая конкретно, как это делается.

Получается, что содержание и последовательность задач должны (что очевидно) идти от простого к сложному, причём для простых

задач нужны рабочие примеры. А вот для перехода от простых задач к сложным нужна некая система поддержки. В классе роль системы поддержки выполняет учитель. А если мы составляем задачник? Можно ли внедрить систему поддержки прямо в него, особенно с учётом того, что задачником будут пользоваться люди с разным уровнем знаний?

Мы попытались решить эту задачу, в результате чего у нас получилась идея *пирамидального задачника*. Задачник состоит из задач увеличивающейся сложности. Причём к каждой сложной задаче даются более простые, совместное решение которых позволяет решить сложную. Более простые разбиваются ещё сильнее и так далее. Если школьник может решить более сложную задачу, он даже не читает условия более простых. Если не может – пытается решить более простые, а решив их, возвращается к более сложной. Так задачи разбиваются до элементарных.

Вот несколько примеров таких пирамид. Число звёздочек соответствует уровню задачи (одна звёздочка – элементарная)

1.☆☆☆☆ Массовая доля меди в медной руде составляет 3%. Из руды выплавляют сырую медь, которая содержит 10% примесей металлов, в частности, 1% серебра. Какую массу серебра можно выделить из одного вагона (60 т) руды?

1.1.☆ Какую массу золота можно выделить из 1 тонны сырой меди, если его содержание в сырой меди составляет 0,02%?

1.2.☆☆☆☆ Какую массу ценного минерала с 20% примесей можно получить из 60 т руды, если ценного минерала в руде содержится 5%?

1.2.1.☆ Какую массу чистого ценного минерала можно выделить из 60 т руды, если в ней содержится 7% ценного минерала?

1.2.2.☆☆☆ Смесь ценного минерала с пустой породой содержит 30% пустой породы и 50 кг ценного минерала. Какова масса смеси?

- 1.2.2.1.☆☆ Какова масса ценного минерала в 80 кг его смеси с пустой породой, если пустой породы в ней – 40%.
- 1.2.2.1.1.☆☆ Какова масса ценного минерала в 35 кг его смеси с пустой породой, если содержание минерала в ней составляет 65%?
- 1.2.2.1.2.☆☆ Какова массовая доля минерала в смеси с пустой породой, если масса смеси 120 кг, а содержание минерала – 75%?
- 2.☆☆☆☆ Царскую водку готовят, смешивая 36%-ной соляную кислоту (плотность 1,18 г/мл) с 65%-ной азотной кислотой (плотность 1,39 г/мл) в соотношении 3 : 1 по объёму. Каковы массовые доли соляной и азотной кислоты в свежеприготовленной царской водке?
- 2.1.☆☆ Взяли два раствора, один плотностью 1,18 г/л, и второй – плотностью 1,39 г/л. Объём первого в три раза больше объёма второго. Во сколько раз масса первого больше массы второго?
- 2.1.1.☆☆ Выразите массу раствора m через его объём V и плотность ρ .
- 2.1.2.☆☆ Хряп весит три с половиной килобюя, а бряк – 1,5 килобюя. Во сколько раз хряп тяжелее бряка?
- 2.2.☆☆☆☆ Какова будет массовая доля соляной и азотной кислоты в растворе, полученном смешением 36%-ной соляной кислоты с 65%-ной азотной кислотой в соотношении 3,5 : 1.
- 2.2.1.☆☆ Какова массовая доля соляной кислоты, если 3,5 массовых части её 36%-ного раствора разбавить чем-либо до 5 единиц массы?
- 2.2.1.1.☆☆ Сколько единиц массы соляной кислоты содержится в 3,5 единицах массы 36%-ного раствора?
- 2.2.1.2.☆☆ Какова массовая доля соляной кислоты, если 0,4 единицы массы её растворить в 5 единицах массы раствора?
- 2.2.2.☆☆ Сколько единиц массы раствора получится, если одну единицу массы смешать с 3,5 единиц массы?

3.☆☆☆☆☆☆ Активированный уголь – это очень пористый углерод. За счёт огромного количества мелких пор 1 г активированного угля может иметь площадь поверхности около 2000 м^2 . К этой поверхности могут «прилипнуть» самые разные молекулы, в том числе молекулы загрязняющих веществ. Поэтому активированный уголь часто используют для очистки воды. Оцените массу красителя кристаллвиолета $\text{C}_{25}\text{H}_{30}\text{N}_3\text{Cl}$ (используют в чернилах), который может быть поглощён 1 г активированного угля, если одна молекула кристаллвиолета «садится» на 30 атомов углерода. Плотность компактного углерода $2,3 \text{ г/см}^3$.

3.1.☆☆☆ Одна молекула кристаллвиолета «садится» на 30 атомов углерода. Какая масса кристаллвиолета может «сесть» на поверхность, содержащую 10^{20} атомов?

3.1.1.☆ Одна молекула кристаллвиолета «садится» на 30 атомов углерода. Сколько молекул кристаллвиолета может «сесть» на поверхность, содержащую 10^{20} атомов?

3.1.2.☆☆ Какова масса 10^{19} молекул кристаллвиолета?

3.1.2.1.☆ Сколько моль соответствует 10^{19} молекул?

3.1.2.2.☆ Какова масса 10^{-4} моль кристаллвиолета?

3.2.☆☆☆☆☆ Сколько атомов углерода умещается на поверхности футбольного поля (2000 м^2), если считать, что атомы, это плотно упакованные кубики? Плотность компактного углерода $2,3 \text{ г/см}^3$.

3.2.1.☆☆ Сколько объектов площадью 10^{-12} см^2 может уместиться на площади 2000 м^2 ?

3.2.1.1.☆ Переведите 2000 м^2 в см^2 .

3.2.2.☆☆☆☆ Какую площадь занимает один атом углерода, если считать его кубиком? Плотность углерода $2,3 \text{ г/см}^3$.

3.2.2.1.☆☆ Какой объём занимает один атом углерода, если плотность углерода $2,3 \text{ г/см}^3$?

3.2.2.1.1.☆☆ Какой объём занимает один моль углерода, если его плотность – $2,3 \text{ г/см}^3$?

3.2.2.1.1.1.☆ Какова масса 1 моль углерода?

- 3.2.2.1.1.2. ☆ Какой объём занимает 20 г углерода, если его плотность 2,3 г/см³?
- 3.2.2.1.2. ☆ Какой объём занимает одна частица, если объём одного моля составляет 24 см³?
- 3.2.2.2. ☆☆ Какова площадь грани кубика объёмом $8 \cdot 10^{-18}$ см³?
- 3.2.2.2.1. ☆ Какова длина ребра кубика $8 \cdot 10^{-18}$ см³?
- 3.2.2.2.2. ☆ Какова площадь грани кубика с ребром $3 \cdot 10^{-7}$ см?
4. ☆☆☆ Старуха Шапокляк купила на базаре слабительное – сульфат натрия $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Придя домой, она заподозрила, что ей подсунули грязный сульфат натрия, и решила это проверить. Старуха Шапокляк взяла 1,00 г препарата, растворила в воде и добавила раствор, содержащий 2 г BaCl_2 . При этом выпало 0,52 г осадка. Был ли препарат чистым?
- 4.1. ☆☆ По данным анализа навеска 1,00 г кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ содержала 16,9% карбоната натрия. Можно ли сказать, что карбонат натрия был чистым?
- 4.1.1. ☆ Какова массовая доля карбоната в чистом кристаллогидрате $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$?
- 4.1.2. ☆ Расчёт по формуле показывает, что в некотором веществе массовая доля меди составляет 15,6%. Анализ показал, что массовая доля меди в нём 14,8%. Можно ли говорить, что вещество чистое?
- 4.2. ☆☆☆ Какова массовая доля сульфата в препарате, 1,50 г которого при реакции с 3 г BaCl_2 дал 0,8 г осадка?
- 4.2.1. ☆☆ Некий препарат при реакции с 1,5 г хлорида бария дал 0,8 г осадка сульфата бария. Что было в избытке – барий или сульфат?
- 4.2.1.1. ☆ Какое количество бария содержится в 1,5 г хлорида бария?
- 4.2.1.2. ☆ Какое количество бария содержится в 0,8 г сульфата бария?

4.2.1.3. ☆ При реакции раствора сульфата натрия с раствором, содержащим 0,0250 моль бария, выпал осадок, содержащий 0,0250 моль бария. Какой из реагентов был в избытке?

4.2.2. ☆☆ Какова массовая доля сульфата натрия в препарате, если при взаимодействии этого препарата массой 1,5 г с избытком хлорида бария образуется 1,80 г осадка?

4.2.2.1. ☆ Какова масса сульфата натрия в препарате, если при взаимодействии с избытком хлорида бария он дал 1,80 г осадка?

4.4.2.2. ☆ Какова массовая доля сульфата натрия в препарате, если 4 г препарата содержит 1,20 г сульфата?

Подобные задачи мы предлагали продвинутым школьникам при подготовке к олимпиадам и ДВИ и получили положительные отзывы. Подобную структуру двухуровневых задач мы также сейчас используем в рамках заочного школьного курса.

Представляется, что любую сложную задачу можно либо разделить на две простых, либо предложить вместо неё более простую обратную. Строгих доказательств у нас нет, но на данный момент мы «разобрали» около двухсот задач и везде смогли соблюсти это правило. Предлагаемая нами методика обучения решению расчётных задач позволяет минимально перегружать рабочую память при «сборке» простых задач в сложную.

В качестве элементарных мы принимали следующие задачи и расчёты:

- задачи, для решения которых требуется использование одной формулы (вычисление массы смеси по известным массе компонента и его массовой доле; вычисление массы по известному объёму и плотности раствора и т. п.);
- расчёт масс компонентов по уравнению реакции;
- расчёт массовой доли элемента в соединении по формуле соединения;

- задачи, требующие специфических навыков получения информации (считывание данных с графиков).

Остаётся открытым вопрос, предпочтительнее ли «ощипывание» задачи (то есть отделение одной элементарной задачи, потом отделение от того, что осталось, ещё одной элементарной задачи и так далее), как это сделано в задаче 0, или разбиение задач на две примерно одинаковые по сложности (пример – задача 2). Возможно, это зависит от конкретной задачи, ибо нет доказательств, что любую задачу можно разбить обоими способами.

В любом случае эффективность пирамидальной конструкции задач требует дальнейших исследований, но априорно она больше удовлетворяет принципам когнитивной психологии, чем линейная последовательность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yuriev E., Naidu S., Schembri L. S., Short, J. L. Scaffolding the development of problem-solving skills in chemistry: guiding novice students out of dead ends and false starts. // *Chemistry Education Research and Practice*, 2017, 18 (3), p. 486–504. doi:10.1039/c7rp00009j.

2. Жилин Д.М. Когнитивная психология: ключ к решению некоторых проблем преподавания химии. // Первое сентября. Химия. Октябрь 2015. – С. 3–8.

3. Kalyuga S., Ayres P., Chandler P., Sweller J. The Expertise Reversal Effect. // *Educational Psychologist*, 2003, 38 (1), p. 23–31.

4. Stamovlasis D., Tsaparlis G. Cognitive variables in problem solving: a nonlinear approach. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2005, 3, p. 7–32.

5. Overton T., Potter N. Solving open-ended problems, and the influence of cognitive factors on student success. // *Chemistry Education Research and Practice*, 2008, 9, p. 65–69.

6. Жилин Д.М. Вопросы в электронных учебниках по химии как средство обучения. // *Информатика и образование*, 2014. №4 (253). – С. 48–52.

7. Ngu B.H., Mit E, Tuovinen F.S.J. Chemistry problem solving instruction: a comparison of three computer-based formats for learning from hierarchical network problem representations. *Instructional Science*, 2009, 37, p. 21–42.

8. *Eiriksdottir E., Catrambone R.* (2011). Procedural Instructions, Principles, and Examples. // *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2011, 53(6), p. 749–770. doi:10.1177/0018720811419154.

9. *Жилин Д.М.* Аттестация по химии выпускников средней школы: зарубежный опыт. // *Естественнонаучное образование: проблемы аттестации химиков*. М.: Издательство Московского университета, 2021. – С. 183. – URL: <http://www.chem.msu.ru/rus/books/2021/science-education-2021/183.pdf>

10. *Kumar D.D.* Assessment of Expert-Novice Chemistry Problem Solving Using HyperCard: Early Findings. // *Journal of Science Education and Technology*, 1993, 2(3), p. 481–485. doi:10.1007/BF00694430.

11. *Heyworth R. M.* Procedural and conceptual knowledge of expert and novice students for the solving of a basic problem in chemistry. // *International Journal of Science Education*, 1999, 21(2), p. 95–211. doi:10.1080/095006999290787.

12. *Bodner G. M.* Research on Problem Solving in Chemistry. / *Chemistry Education*, 2015, p. 181–202. doi:10.1002/9783527679300.ch8.

13. *Cooper M.M., Sandi-Urena S., Stevens R.* Reliable multi method assessment of metacognition use in chemistry problem solving. // *Chemistry Education Research and Practice*, 2008, 9, p. 18–24.

14. *Lorenzo M.* The development, implementation, and evaluation of a problem solving heuristic. // *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2005, 3, p. 33–58.

15. *Bishop, J. L., Verleger, M. A.* The flipped classroom: A survey of the research. // Paper presented at the ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, 2013. – URL: <https://peer.asee.org/the-flipped-classroom-a-survey-of-the-research>

16. *Weaver G. C., Sturtevant H. G.* Design, Implementation, and Evaluation of a Flipped Format General Chemistry Course. *Journal of Chemical Education*, 2015, 92(9), p. 1437–1448. doi:10.1021/acs.jchemed.5b00316.

17. *Vickrey T., Rosploch K., Rahmanian R., Pilarz M., Stains M.* Research-Based Implementation of Peer Instruction: A Literature Review. // *CBE—Life Sciences Education*, 2015, 14(1), es3. doi:10.1187/cbe.14-11-0198. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25713095/>

18. *Gosser D. K., Roth V.* The Workshop Chemistry Project: Peer-Led Team-Learning. // *Journal of Chemical Education*, 1998, 75(2), p. 185. doi:10.1021/ed075p185.

19. *Lundeberg M. A.* Supplemental instruction in chemistry. // *Journal of Research in Science Teaching*, 1990, 27(2), p. 145–155. doi:10.1002/tea.3660270206.

20. *Cardellini, L.* (2006). Fostering creative problem solving in chemistry through group work. // *Chemistry Education Research and Practice*, 2006, 7(2), p. 131–140. doi:10.1039/b5rp900019k.

21. Sandi - Urena S., Cooper M. M., Stevens R. H. (2010). Enhancement of Metacognition Use and Awareness by Means of a Collaborative Intervention. // *International Journal of Science Education*, 2010, 33(3), p. 323–340. doi:10.1080/09500690903452922.

22. Cook E., Kennedy E., McGuire S. Y. Effect of Teaching Metacognitive Learning Strategies on Performance in General Chemistry Courses. // *Journal of Chemical Education*, 2013, 90(8), p. 961–967. doi:10.1021/ed300686h.

23. Parker Siburt C. J., Bissell A. N., Macphail R. A. Developing Metacognitive and Problem-Solving Skills through Problem Manipulation. // *Journal of Chemical Education*, 2011, 88(11), p. 1489–1495. doi:10.1021/ed100891s.

24. Rickey D., Stacy A.M. The Role of Metacognition in Learning Chemistry. // *Journal of Chemical Education*, 2000, 77(7), p. 915-920. doi:10.1021/ed077p915.

25. Augustine B. H., Miller H. B., Knippenberg M. T., Augustine R. G. Strategies, Techniques, and Impact of Transitional Preparatory Courses for At-Risk Students in General Chemistry. // *Enhancing Retention in Introductory Chemistry Courses: Teaching Practices and Assessments*, 2019, p. 15–47. doi:10.1021/bk-2019-1330.ch002.

26. Dweck C.S. *Mindset: The New Psychology of Success*. New York: Ballentine Books, 2006.

27. Duckworth, A. *Grit: The Power of Passion and Perseverance*. New York: Scribner, 2016.

28. McNeill K. L., Lizotte D. J., Krajcik J., Marx R. W. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. // *Journal of the Learning Sciences*, 15(2), p. 153-191. doi:10.1207/s15327809jls1502_1.

29. Reiser B. J. (2004). Scaffolding Complex Learning: The Mechanisms of Structuring and Problematising Student Work. // *Journal of the Learning Sciences*, 2004, 13(3), p. 273–304. doi:10.1207/s15327809jls1303_2.

30. Han, X., Luo, H., Yang, J., & Jiang, S. (2021). Fading scaffolds for better online learning? A comparative analysis of three scaffolding practices. // *Blended Learning: Re-thinking and Re-defining the Learning Process*. Lecture Notes in Computer Science, 2021 p. 326-337. doi:10.1007/978-3-030-80504-3_27.

31. Broman K., Bernholt S., Parchmann I. (2018): Using model-based scaffolds to support students solving context-based chemistry problems. // *International Journal of Science Education*, 2018, 40(10), p. 1176–1197. doi:10.1080/09500693.2018.1470350

2. Van Lehn, K. (1996). Cognitive skill acquisition. // *Annual Review of Psychology*, 1996, 47, p. 513–539.

33. Renkl, A., Atkinson, R. K. Structuring the Transition From Example Study to Problem Solving in Cognitive Skill Acquisition: A Cognitive Load Perspective. // *Educational Psychologist*, 2003, 38(1), p. 15–22.